

Etude de la variabilité d'*Ustilago scitaminea* Syd., agent du charbon de la canne à sucre

J.-P. PEROS, P. BAUDIN (1)

RÉSUMÉ — Des isolats d'*Ustilago scitaminea* Sydow, parasite de *Saccharum sp.*, provenant de la Guadeloupe, de la Réunion, de Côte d'Ivoire, du Mali, de Haute-Volta et du Kenya ont été comparés d'après plusieurs critères. La germination des spores et la croissance des cultures ne sont pas très différentes entre les isolats dont les cellules haploïdes s'hybrident selon un même hétérothallisme bipolaire. Dans nos conditions d'analyse, les isolats présentent une virulence identique et une agressivité semblable, la réaction variétale apparaissant prédominante pour fixer le niveau de la maladie. L'homogénéité du parasite, dans les régions étudiées, peut être due à la dispersion géographique récente d'un même pathotype. L'éventualité de l'apparition d'un pathotype, largement adapté et stable, lors de la sélection des variétés cultivées, est également évoquée. Une hétérogénéité du parasite dans le monde n'est cependant pas à exclure, puisque des discordances apparaissent entre nos observations et certains résultats publiés par d'autres auteurs.

Mots clés : *Saccharum sp.* ; canne à sucre ; *Ustilago scitaminea* ; charbon ; variabilité ; isolats.

Le charbon de la canne à sucre est une maladie cryptogamique très répandue dont la gravité dépend localement de la sensibilité des variétés cultivées et des conditions climatiques. Le symptôme, sans équivoque, de la maladie est l'apparition à l'extrémité de la tige infectée d'un sore en forme de fouet qui libère une multitude de spores au cours de sa croissance. Il s'agit des téliosporos, probasides diploïdes, d'*Ustilago scitaminea* Sydow, membre de la famille des Ustilaginales. Elles germent en un promycélium constitué de quatre cellules haploïdes pouvant donner chacune une sporidie. La fusion des sporidies ou des cellules promycéliennes aboutit à la formation d'un mycélium dicaryotique et infectieux. C'est au niveau des tissus juvéniles des bourgeons et des jeunes pousses que le parasite débute son cycle biotrophe (BOCK, 1964).

Le comportement variétal est très variable et fluctue dans le temps et l'espace pour une même variété ; plusieurs causes ont été avancées pour expliquer cette difficulté supplémentaire que rencontre le sélectionneur (WHITTLE, 1978) :

— la diversité des méthodes de criblage et des échelles de notation,

(1) IRAT / GERDAT, Division de défense des cultures, B.P. 5035, 34032 Montpellier Cedex, France.

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N° : 15733, ex 1

Cote : B

— l'interaction entre les conditions climatiques et l'expression de la maladie,
— la variabilité de l'agent causal.

Au cours du présent travail, nous nous intéresserons à cette dernière hypothèse, qui est soutenue par divers résultats publiés par d'autres auteurs. Ainsi, MUNDKUR (1939) puis MUNDKUR et THIRUMALACHAR (1952) concluent à l'existence de différents types morphologiques et pathogènes au sein d'*Ustilago scitaminea* en comparant des isolats d'Inde, des Philippines, de Chine, de Java, du Natal, de Burma et de Maurice. Des travaux effectués en Argentine (HIRSHHORN, 1943) et en Inde (LAMBAT *et al.*, 1968 ; SAXENA et KHAN, 1964) ont démontré également une certaine hétérogénéité de l'organisme. Des relations différentielles entre races du parasite et variétés de canne ont été mises en évidence à Formose (LEU et TENG, 1972), au Brésil (TOFFANO, 1976) et à Hawaï (BYTHER et STEINER, 1976).

La situation de Montpellier en dehors des zones de culture nous a permis d'y rassembler des isolats provenant de Guadeloupe, de la Réunion et de plusieurs pays africains (Côte d'Ivoire, Haute-Volta, Mali, Kenya). Dans un premier temps, nous avons comparé les collections d'après des critères simples tels que la germination des spores, la croissance *in vitro* et la compatibilité sexuelle ; ensuite nous avons étudié leurs caractéristiques pathogènes vis-à-vis de gammes variétales.

Matériel et méthodes

Matériel végétal

Dès leur réception, les spores sont tamisées et mises dans de petits flacons maintenus au froid (4°C) sec (LEU, 1972). Les isolats sont identifiés par l'initiale de leur pays d'origine (G : Guadeloupe ; R : Réunion ; CI : Côte d'Ivoire ; M : Mali ; HV : Haute-Volta ; K : Kenya) suivie de la dénomination de la variété sur laquelle ils ont été collectés.

Différents hybrides commerciaux de *Saccharum sp.* nous ont été envoyés, sous forme de boutures d'un œil, depuis les stations IRAT de Guadeloupe et de la Réunion. Certains lots de boutures proviennent de la serre de quarantaine de l'IRAT à Montpellier.

Germination des spores

La germination des spores est étudiée à l'aide des techniques des lames gélosées (gélose seule ou Potato Dextrose Agar-Difco) et des lames à cavités (eau distillée ou Potato Dextrose Broth-Difco). La fixation du matériel et l'observation microscopique sont faites dans le lactophénol.

Culture du parasite

Les cultures mycéliennes se développent sur milieu Trione (TRIONE, 1964) ou PDA (Difco). Leur croissance est bonne entre 25 et 30°C. Elles proviennent d'isolements monospores réalisés après l'étalement d'une suspension de téliosporos, faiblement concentrée, sur eau gélosée à 4 %.

Sur milieu PDA (Difco) les sporidies se forment après 6 heures à 30°C ou après 18-20 heures à 15°C. Les quatre sporidies d'un même promycélium sont séparées, prélevées et déposées sur milieu PDA à l'aide d'un micro-outil coudé en verre.

Confrontation des cultures monosporidiales

Le milieu PDA contenu dans des boîtes de Petri (diamètre : 9 cm) est percé uniformément de seize cavités (diamètre : 4 mm) par boîte. A l'intérieur d'une même cavité, on confronte deux à deux les cultures monosporidiales en y déposant une goutte de chaque culture diluée dans l'eau.

Inoculation et culture des plantes

Pour leur germination, les boutures sont mises en conditions humides à 30°C. Deux méthodes d'inoculation sont utilisées. La première consiste à badigeonner une suspension concentrée de téliosporos ($\approx 10^8$ sp/ml) sur la base scarifiée de la jeune pousse (0,5 - 1 cm). Pour la deuxième, on attend que la pousse se développe (2 - 3 cm), puis l'on injecte une suspension moins concentrée ($\approx 5.10^6$ sp/ml) à sa base. Les boutures inoculées sont remises 24 heures à l'humidité à 30°C. Les plantes sont cultivées en serre dans des pots de 1 litre renfermant un mélange tourbe-pouzzolane (2 : 3) avec un apport quotidien de solution nutritive en quantité suffisante pour assurer une humidité adéquate (BAUDIN, 1978). Des plantes « témoins » non inoculées accompagnent chaque série expérimentale.

Mesure du pouvoir pathogène

Détection du champignon dans la plante

Pour savoir si une plante est ou non infectée, il n'est pas nécessaire d'attendre la sortie des fouets. Un bourgeon axillaire ou une base de gaine foliaire est prélevé et traité pendant une heure au lactophénol à 110°C (autoclave).

Les échantillons sont ensuite colorés dans du lactophénol renfermant du bleu de méthyle (0,05 %), puis rincés au lactophénol. L'observation microscopique, effectuée dans de la glycérine, du mycélium d'*Ustilago scitaminea* atteste de la réussite de l'inoculation (DUARTE et TOKESHII, 1977 ; TCHING, 1979).

Délai d'apparition du fouet

Comme nous l'avons observé, le délai compris entre l'inoculation et l'apparition des fouets paraît en bonne corrélation avec la résistance variétale (PEROS, 1981) ; il semble donc intéressant d'utiliser ce critère pour évaluer le pouvoir pathogène du parasite.

Résultats

Germination des spores

Avec les méthodes et milieux utilisés, les isolats ne peuvent être discriminés de façon précise d'après la longueur du promycélium. En effet, malgré des différences statistiquement significatives, le classement des isolats varie d'une répétition à une autre. Les isolats de la Réunion se distinguent toutefois par un développement du promycélium un peu plus faible.

Quelle que soit l'origine géographique des spores, en milieu nutritif (PDA ou PDB), le pourcentage de germination augmente tandis que la longueur du promycélium diminue (tabl. I). Dans l'eau, ou sur eau gélosée, les cellules du promycélium fusionnent et donnent rapidement des organes dicaryotiques ; en revanche, dans le PDB ou sur PDA, il y a formation de sporidies. Les températures défavorables au champignon (15 et 35°C) influencent la vitesse de la germination sans en changer le mode (hyphal ou sporidial).

Tableau I Influence de l'origine de l'isolat et du milieu d'incubation sur la germination des spores d'*Ustilago scitaminea*. Technique des lames à cavités (6 heures d'incubation à 30°C).

Isolat	Eau		PDB	
	G	Lp	G	Lp
G.HJ 5741	83	16,5	93,5	13,1
M.SC 5621	87	15,0	94,5	12,0
HV.NCo 310	83	15,0	90	12,2
Cl.NCo 376	75	14,8	93	13,7
K.Co 421	81	14,3	85	13,3
R.RP 591/70	72	13,7	85,5	11,2

PDB : Potato Dextrose Broth (Difco)

G : Pourcentage de germination (2×100 spores)

Lp : Longueur du promycélium (en 10^{-6} m, 2×100 mesures)

Aspect et croissance des cultures

En ce qui concerne l'aspect des cultures sur PDA ou milieu Trione, aucune différence n'apparaît entre les isolats. Les colonies mycéliennes sont compactes et élastiques, leur base est brune et les hyphes aériens blancs. Après deux à trois semaines à 30°C, ces colonies dégèrent et forment des sporidies. Les cultures monosporidiales sont brunes, levuroïdes et présentent une croissance plus faible. Les températures défavorables au parasite (15 et 35°C) transforment les cultures mycéliennes en cultures sporidiales.

L'analyse statistique des diamètres des cultures dicaryotiques montre que la croissance est différente selon l'origine géographique des spores ; en revanche, le fait que les spores proviennent d'une variété sensible ou d'une variété tolérante n'intervient pas sur le diamètre des colonies (tabl. II). Le classement des moyennes par pays montre que les isolats réunionnais sont distincts des autres collections dès le septième jour. Au quatorzième jour de croissance, les isolats réunionnais et ceux du Kenya ne peuvent être distingués ; il en est de même, mais à un niveau plus faible, pour les collections de Guadeloupe et de Haute-Volta. Les différences arithmétiques sont cependant très faibles.

Tableau II Influence de l'origine géographique et variétale sur le diamètre de cultures monotéliosporées d'*Ustilago scitaminea*.

Isolat	7 ^e jour	14 ^e jour
G.B 46364 (T) G.HJ 5741 (S)	8,40 8,15 $\bar{m} = 8,28 a$	19,60 19,25 $\bar{m} = 19,43 a$
HV.B 46364 (T) HV.NCo 310 (S)	8,30 8,45 $\bar{m} = 8,38 a$	18,95 19,15 $\bar{m} = 19,05 a$
K.Co 421 (T) K.H 507209 (S)	8,45 8,50 $\bar{m} = 8,48 a$	20,70 20,15 $\bar{m} = 20,43 b$
R.R 569 (T) R.R 447 (S)	9,00 8,70 $\bar{m} = 8,85 b$	20,80 20,40 $\bar{m} = 20,60 b$

(T) : variété tolérante ; (S) : variété sensible
A une même date, les moyennes suivies de la même lettre sont identiques au seuil 5 % (Duncan) ; dix répétitions par traitement.

Compatibilité sexuelle

La technique que nous avons mise au point permet d'apprécier rapidement et avec fiabilité la compatibilité des cultures monosporidiales. En effet, s'il y a compatibilité, les cellules des deux cultures testées fusionnent et donnent un mycélium dicaryotique qui cerne la cavité au bout de 48 heures. L'absence de l'anneau mycélien indique l'incompatibilité des cultures monosporidiales.

Dans une première expérience, nous avons confronté les cultures issues d'un même promycélium (trois répétitions pour six isolats de pays différents). Les cultures sont auto-incompatibles et l'anneau mycélien est obtenu pour une confrontation sur deux.

Dans une deuxième série de confrontations, deux cultures incompatibles de deux méiotes différentes, soit quatre cultures monosporidiales, ont été retenues pour chacun des pays. Les diverses confrontations intra et inter-isolat réalisées confirment l'auto-incompatibilité des cultures et une confrontation sur deux donne un anneau mycélien.

Les souches obtenues par recombinaison de cultures monosporidiales de différentes origines géographiques sont multipliées sur milieu PDA. Toutes les suspensions mycéliennes injectées à des variétés très sensibles (NCo 310 et HJ 5741) permettent l'induction du fouet charbonneux.

Virulence des isolats

Les résultats, présentés dans le tableau III, montrent que, dans toutes les séries d'inoculations, une ou plusieurs plantes contiennent le mycélium infectieux. Par ailleurs, la plupart des plantes infectées donnent un fouet (le manque de place nous a contraint à éliminer prématurément certains lots de plantes avant l'époque de la sortie des fouets). Aucun mycélium n'a été observé dans les lots témoins.

Tableau III Comportement de diverses variétés de canne à sucre vis-à-vis de différents isolats d'*Ustilago scitaminea*.

Isolat	Variété							
	HJ 5741	NCo 310	NCo 376	R 569	Co 419	F 134	H 507209	Co 449
G.HJ 5741	F	F	F	F	M	M	F	F
R.RP 591 / 70	F	F	F	F	M	F	-	M
M.SC 5621	F	F	F	F	M	-	F	M
M.F 134	F	M	F	M	M	M	-	-
M.NCo 310	F	F	F	M	M	M	-	-
HV.F 134	F	F	F	M	M	-	-	-
HV.NCo 376	F	F	F	M	M	-	-	-
HV.NCo 310	F	F	F	F	M	F	-	-
K.Co 421	F	F	F	F	M	-	F	M
K.H 507209	F	F	F	M	F	-	-	-
K.NCo 376	F	F	F	M	M	-	-	-
Cl.NCo 376	F	F	F	F	M	-	F	-
Cl.NCo 310	F	F	F	-	M	M	-	-
R.R 447	F	F	-	F	M	-	F	-
R.R 569	F	-	-	F	-	-	-	-
HV.B 46364	F	-	-	-	-	-	-	-
G.B 46364	F	-	-	-	-	-	-	-

M : Présence du mycélium dans une ou plusieurs plantes inoculées
F : Apparition du fouet sur une ou plusieurs plantes notées M
- : Inoculation non réalisée

Les séries d'inoculation ayant été réalisées à des époques différentes, nous ne pouvons comparer avec précision la résistance des variétés d'après le délai d'apparition des fouets ; cependant, des variétés très sensibles comme HJ 5741, NCo 310, NCo 376 et H 507209 donnent rapidement des fouets, alors que les variétés tolérantes F 134 et Co 419 n'en présentent que quatre à six mois après l'inoculation.

Pouvoir pathogène d'isolats d'origines géographiques et variétales différentes

Le pouvoir pathogène de six isolats d'origines géographiques et variétales différentes vis-à-vis de trois variétés de canne à sucre a été étudié. Chaque combinaison isolat x variété est réalisée pour des lots de huit plantes avec trois répétitions. L'inoculation est faite par scarification. La notation du délai d'apparition du fouet sur la tige principale se fait tous les jours au début de la sortie des fouets, puis tous les deux ou trois jours.

Comparaison des pourcentages d'infection

Le pourcentage d'infection (tabl. IV) de chaque isolat pour les trois variétés réunies varie de 74 % (HV.NCo 310) à 84 % (CI.NCo 376). Deux combinaisons ont donné une proportion faible de plantes malades : HV.NCo 310 sur F 160 et G.HJ 5741 sur H 49-5.

Tableau IV Pouvoir pathogène de six isolats d'*Ustilago scitaminea* vis-à-vis de trois variétés de canne à sucre : proportion plantes malades / plantes survivantes et pourcentages d'infection en fin d'expérience (PI).

Isolat	Variété				
	F 160	H 49-5	NCo 310	Σ	PI
G.HJ 5741	21 / 23	7 / 18	21 / 23	49 / 64	77 %
M.SC 5621	18 / 22	10 / 19	21 / 22	49 / 63	77 %
CI.NCo 376	20 / 22	15 / 21	21 / 24	54 / 67	84 %
HV.NCo 310	14 / 23	17 / 23	17 / 19	48 / 65	74 %
K.Co 421	20 / 22	12 / 21	21 / 23	53 / 66	80 %
R.R 447	17 / 20	11 / 20	21 / 23	45 / 63	77 %
Σ	110 / 132	72 / 122	122 / 134	304 / 388	
P.I.	83 %	59 %	91 %		78 %

La technique d'inoculation a été efficace puisque, globalement, huit plants sur dix ont été infectés. Tous isolats confondus, le taux d'infection des variétés apparaît différent, H 49-5 étant la moins attaquée. Par ailleurs, cette dernière variété présente le taux de mortalité le plus important.

Comparaison des délais d'apparition des fouets

Entre les isolats, le délai d'apparition des fouets (tabl. V) varie de 64 à 77 jours pour F 160 et de 66 à 77 jours pour H 49-5. Les fluctuations, entre isolats, les plus importantes sont obtenues sur la variété NCo 310 : les isolats M.SC 5621 et K.Co 421 diffèrent de 35 jours pour le délai d'apparition des fouets.

Tableau V Pouvoir pathogène de six isolats d'*Ustilago scitaminea* vis-à-vis de trois variétés de canne à sucre : nombre de jours nécessaires à l'observation de la sortie des fouets et intervalle des apparitions.

Isolat	Variété		
	F 160	H 49-5	NCo 310
G.HJ 5741	65 (48-109)	77 (62-99)	128 (73-164)
M.SC 5621	68 (41-115)	66 (54-77)	105 (54-158)
CI.NCo 376	64 (40-101)	68 (55-106)	134 (95-162)
HV.NCo 310	72 (41-103)	75 (52-106)	105 (65-164)
K.Co 421	77 (47-133)	71 (50-116)	140 (80-164)
R.R 447	66 (41-129)	74 (52-97)	111 (59-158)
Moyenne	69 (40-133)	72 (50-116)	121 (54-164)
Nombre d'observations	106	72	104

Les délais moyens sont voisins pour les variétés F 160 et H 49-5 ; cependant les fouets apparaissent plus tôt et l'intervalle entre les apparitions de fouets est plus grand pour F 160. NCo 310 se distingue nettement des deux autres variétés par un délai moyen supérieur de 50 jours et un intervalle de trois mois.

Effet de l'isolat sur la sortie des fouets

Cet effet a été analysé pour chacune des variétés étudiées (fig. 1). Les courbes représentant le nombre cumulé de fouets apparus en fonction du temps ont une allure très similaire sur F 160, sauf celle de l'isolat HV.NCo 310. Des variations plus notables apparaissent sur H 49-5 au début de la sortie des fouets. Deux isolats se distinguent des autres : K.Co 421 provoque la sortie la plus précoce et G.HJ 5741 la plus tardive. Des différences plus importantes entre isolats apparaissent avec NCo 310 ; au début de l'apparition des fouets, trois types de comportement sont observés :

- une sortie précoce pour les isolats M.SC 5621, HV.NCo 310, R. R447 ;
- une sortie moins rapide pour G.HJ 5741 et CI.NCo 376 ;
- une sortie tardive pour K.Co 421.

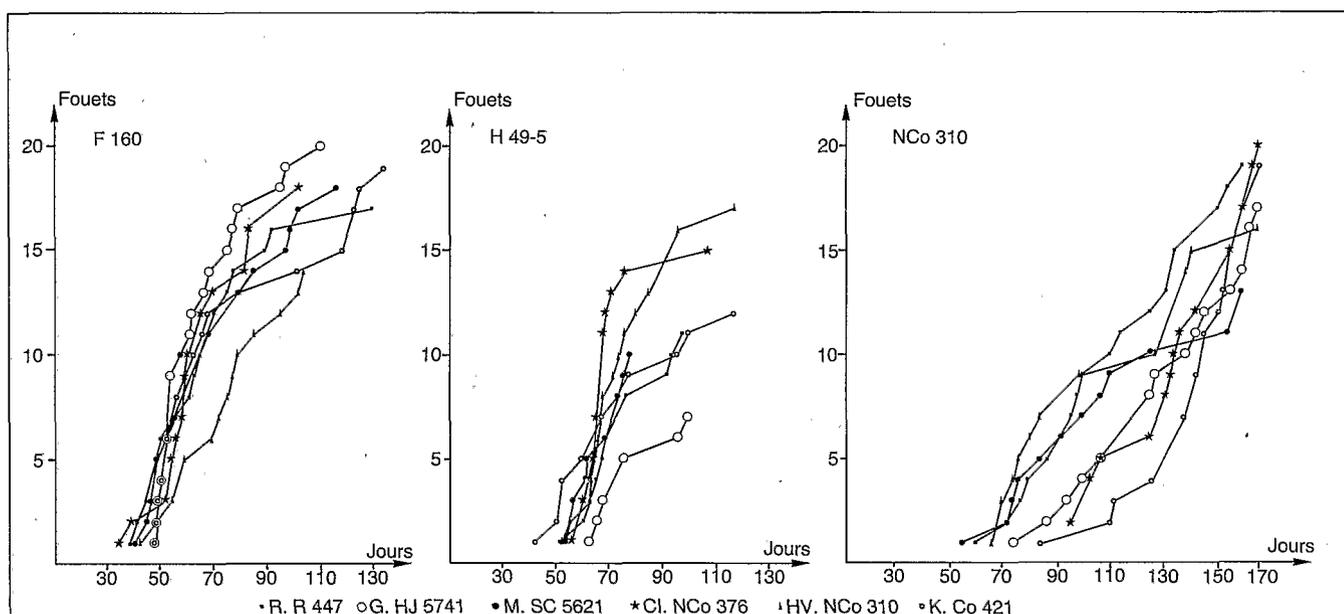


Fig. 1 : Nombre cumulé dans le temps en jours des fouets apparus sur trois variétés de canne à sucre inoculées avec six isolats d'*U. scitaminea*

Toutefois, après le rempotage, les sorties de fouets augmentent et les différences entre isolats s'amenuisent.

Effet variétal sur la sortie des fouets

Tous isolats confondus, malgré un délai moyen identique, il apparaît clairement sur la figure 2 que les fouets sortent plus rapidement sur F 160 que sur H 49-5. Pour ces deux variétés, la sortie des fouets est d'abord rapide (phase exponentielle), puis se stabilise. Elle est tout à fait différente pour NCo 310 : la sortie est lente et linéaire, puis, après le rempotage, plus rapide. Notons un ralentissement de l'apparition des sores entre les 85 et 95^e jours ; la cause de ce phénomène est sans doute climatique, puis-que commune aux trois variétés.

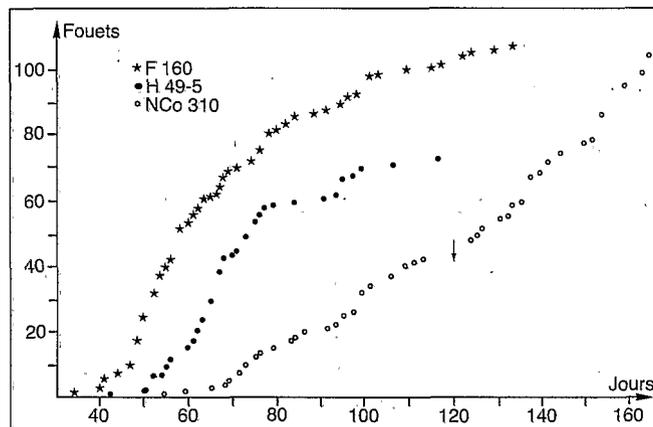


Fig. 2 : Nombre cumulé dans le temps des fouets apparus sur trois variétés de canne à sucre, les six isolats d'*U. scitaminea* étant regroupés (↓ : rempotage de la variété NCo 310).

Discussion

Dans un premier temps, l'utilisation de critères autres que le pouvoir pathogène a fait apparaître une très faible variabilité entre isolats d'*Ustilago scitaminea* en provenance de Guadeloupe, de la Réunion, d'Afrique de l'Ouest et de l'Est. Seuls, les isolats réunionnais se sont légèrement distingués des autres, d'après la croissance du promycélium et le développement des cultures dicaryotiques. Les modalités du retour à l'état dicaryotique (formation de sporidies si le milieu est nutritif ou fusion des cellules du promycélium s'il ne l'est pas) sont identiques pour tous les isolats que nous avons étudiés. Ces observations diffèrent des résultats obtenus en Inde, où la formation des sporidies prédomine en milieu non nutritif (VISWANATHAN, 1964 ; ALEXANDER et RAMAKRISNAM, 1977). Par ailleurs, contrairement aux résultats de LEU (1972) à Formose, les températures défavorables au champignon ne changent pas les modalités de la germination des spores ; elles ralentissent seulement son déroulement. Il est possible que les divergences entre nos observations et celles de ces auteurs soient les indices de l'existence de races physiologiques d'*Ustilago scitaminea*. En effet, une étude comparative portant sur *Ustilago tritici* et *Ustilago nuda* (POPP, 1955) a montré qu'une germination différente des spores peut permettre la distinction des deux espèces autant que la spécialisation parasitaire.

Les résultats obtenus lors de l'étude de la sexualité ne peuvent s'expliquer que par l'existence d'un hétérothallisme bipolaire chez *Ustilago scitaminea*, comme l'ont signalé ALEXANDER et SRIVANASAN (1966), SAXENA et SINGH (1966) et LEU (1972). Il n'existe pas de polymorphisme pour ce caractère au sein des isolats réunis à

Montpellier et les nouvelles souches hétérocaryotiques reconstituées *in vitro* sont capables de se multiplier aux dépens de la plante hôte.

Dans une deuxième partie, nous avons comparé le pouvoir pathogène des isolats. L'étude de leur virulence a montré qu'elle est identique sur les variétés utilisées puisque toutes les inoculations réalisées ont entraîné la détection du mycélium dans la plante et que la sortie du fouet s'est produite sur des plantes infectées lorsqu'il nous a été possible de l'attendre. D'autres variétés de canne à sucre permettraient peut-être de mettre en évidence des différences de virulence.

Seuls, deux exemples d'incompatibilité (impossibilité pour un isolat de produire un fouet sur un génotype-hôte donné) ont été décrits pour cette maladie (LEU et TENG, 1972 ; TOFFANO, 1976). Malheureusement, ces auteurs ne précisent pas si le mycélium s'observe dans les plantes ne donnant pas de fouet charbonneux. Ils n'indiquent pas non plus la nature des phénomènes qui empêchent la formation du fouet. En revanche, dans le cas du charbon du sorgho, causé par *Sphacelotheca reiliana*, il a été montré l'existence de deux mécanismes, l'un qui empêche le développement du mycélium infectieux dès la contamination, l'autre qui ne permet pas la colonisation des zones méristématiques par le mycélium (WILSON et FREDERIKSEN, 1970 b).

Les techniques d'inoculation que nous avons dû utiliser par manque de matériel végétal (spores et boutures) étant éloignées de l'inoculation naturelle, nous n'avons pu prendre en compte les composantes préinfectieuses de la résistance (LLOYD et PILLAY, 1980), pour lesquelles une variabilité des isolats aurait pu apparaître. Cette réserve étant faite, remarquons que, dans les deux exemples connus d'incompatibilité, des méthodes massives d'inoculation ont été également utilisées.

Une étude plus précise du comportement de six isolats d'origines géographiques et variétales différentes vis-à-vis de trois variétés a montré que l'effet variétal sur le niveau de la maladie est supérieur à l'effet de l'isolat pour les deux critères retenus : taux d'infection et délai d'apparition des fouets. D'après l'évolution de la sortie des fouets, le classement des isolats sur chaque variété semble différent ; toutefois, compte tenu des effectifs utilisés, nous ne pouvons conclure à l'existence de relations différentielles entre isolats et variétés.

Nos résultats diffèrent de ceux obtenus à Formose, où NCo 310 est beaucoup plus sensible à la race 1 que F 160 (TAIWAN SUGAR RESEARCH INSTITUTE, 1980). Nous pouvons donc supposer que nos isolats ont des caractéristiques pathogènes autres que celles de la race 1 de Formose. Cependant, les conditions de culture des plantes ayant été peu favorables à la croissance de NCo 310, son comportement a pu être biaisé. Notons que les petites différences apparentes d'agressivité entre les isolats testés peuvent se concrétiser de façon plus importante dans les

conditions naturelles. En effet, selon la terminologie de VAN DER PLANK (1963), si, sur un cycle de culture l'épidémie suit une loi à intérêt simple, lors des repousses successives elle progresse selon une loi à intérêt composé d'après l'équation $x_t = x_0 e^{rt}$ (x_t : quantité de maladie au temps t ; x_0 : quantité de maladie au temps initial, r : vitesse de progression de l'infection). La valeur de r dépend de l'agressivité du parasite et donc de petites variations de ce facteur peuvent avoir d'importantes conséquences sur l'intensité des dégâts. Ce fait permet de souligner l'intérêt de la notation du délai d'apparition des fouets qui correspond à la période de latence de la maladie, l'un des paramètres modulant la valeur de r (PARLEVLIET, 1977).

Pour expliquer l'apparente homogénéité des isolats étudiés, deux suggestions, non exclusives, peuvent être faites.

1 - Une origine commune pour ces isolats est une première hypothèse. Effectivement, la maladie est arrivée récemment en Afrique de l'Ouest, peut-être en provenance de l'est du continent, et des nuages de poussières sahéliennes retombent fréquemment sur les Antilles. Ces retombées ont été particulièrement abondantes avant l'observation des premiers dégâts en Guadeloupe (MAUBOUSSIN, communication personnelle). Cette dispersion récente d'un même pathotype à partir de l'Est africain n'aurait pas encore permis aux nouvelles populations géographiques de dériver génétiquement.

2 - La nécessité, pour le parasite, de s'adapter à un hôte dont l'origine est polyphylétique (ROBINSON, 1976) est une seconde possibilité. Les croisements interspécifiques dans le genre *Saccharum*, puis entre les hybrides obtenus, auraient été accompagnés de la formation d'un pathotype combinant les allèles de virulence et d'agressivité. La multiplication végétative de l'hôte, plante quasi pérenne, et la diminution de la recombinaison sexuelle du parasite (absence de la phase sporidiale dans les conditions naturelles) favoriseraient toutes deux la conservation de ce pathotype à large spectre. A l'appui de cette hypothèse, MUKHERJEE (1957) a montré que le complexe *Saccharum*, qui comprend le genre *Saccharum* et des genres voisins sensibles au charbon, présente une variation maximale en Inde. Or, dans ce pays, la phase sporidiale du champignon est encore bien représentée. Par ailleurs, WILSON et FREDERIKSEN (1970 a) expliquent la stabilité relative du pouvoir pathogène de l'agent du charbon de la panicule du sorgho par le mode hyphal de la germination des téliosporos.

En conclusion, il ne semble pas que le sélectionneur puisse retenir l'hypothèse d'une variabilité de l'agent causal pour expliquer des comportements variétaux différents vis-à-vis du charbon entre les régions où ont été prélevés nos isolats. En revanche, il ne faut pas exclure une certaine hétérogénéité d'*Ustilago scitaminea* dans le monde, puisque les études faites en Inde et à Formose ne corroborent pas complètement nos observations.

Remerciements. Nous remercions M^{me} Liliane CLOUET (Laboratoire de M. le Professeur CHEVAUGEON à ORSAY) pour son aide lors des isolements monosporidiaux.

Références bibliographiques

ANTOINE R., 1961. Smut. In : Sugarcane diseases of the world. Vol. I. J.P. MARTIN, E.V. ABBOTT, G. HUGUES, Ed., Amsterdam, Elsevier, p. 327-354.

ALEXANDER K.C., SRINIVASAN K.V., 1966. Sexuality in *Ustilago scitaminea* Syd. Curr. Sci., 23 : 603-604.

ALEXANDER K.C., RAMAKRISHNAN K., 1977. Studies on the smut disease (*Ustilago scitaminea* Syd.) of sugarcane. 4. Parasitism, germination, dicaryotisation and infection. In : Proc. ISSCT, 16 : 469-471.

BAUDIN P., 1978. Rapport annuel de la serre de quarantaine. Montpellier, IRAT-DDC, 25, 15 p.

BYTHER R.S., STEINER G.W., 1976. Diseases. In : Annual report 1976. Hawaiian Sugar Plant Association : 55-56.

DUARTE M.L.R., TOKESHI H., 1977. Inoculation of sugarcane seedlings for selection of resistance to *Ustilago scitaminea*. In : Proc. ISSCT, 16 : 1-11.

HIRSCHHORN E., 1943. Algunos caracteres del « carbon » de la caña de azúcar en la Argentina (*Ustilago scitaminea* Syd.). Notas Mus. La Plata, 8 : 23-39.

LAMBAT A.K., CHENULU U.K., CHONA B.L., 1968. Morphological variation in the sugarcane smut *Ustilago scitaminea* Syd. Mycopathol. Mycol. Appl., 36 : 3-4.

LEU L.S., 1972. Culmicolous smut of sugarcane in Taiwan. III. Germination and storage of teliospores, compatibility of *Ustilago scitaminea* Syd. Rep. Taiwan Sugar. Exp. Stn., 56 : 37-45.

LEU L.S., TENG W.S., 1972. Pathogenic strains of *Ustilago scitaminea* Syd. Sug. Pathol. Newsl., 8 : 12-13.

LLOYD H.L., PILLAY M., 1980. The development of an improved method for evaluating sugarcane for resistance to smut. Proc. South Afr. Sugar Techn., 54 : 168-172.

MUKHERJEE S.K., 1957. Origin and distribution of *Saccharum*. Bot. Gaz., 119 : 55-61.

MUNDKUR B.B., 1939. Taxonomy of the sugarcane smuts. Kew Bull., 10 : 523-553.

MUNDKUR B.B., THIRUMALACHAR M.J., 1952. Ustilaginales of India. Commonwealth Mycological Institute, Kew, U.K.

PARLEVLIET J.E., 1979. Components of resistance that reduce the rate of epidemic development. Ann. Rev. Phytopathol., 17 : 203-222.

PEROS J.-P., 1981. Contribution à l'étude des relations entre *Ustilago scitaminea* Syd. et la canne à sucre (*Saccharum sp.*). Variabilité de l'organisme et physiologie de l'infection. Thèse de 3^e cycle, Orsay, 91 p.

POPP W., 1955. A comparative study of spore germination of *Ustilago tritici* and *Ustilago nuda*. Phytopathology, 45 : 585-590.

ROBINSON R.A., 1976. Plant pathosystems. Berlin, Springer Verlag, 184 p.

SAXENA S.K., KHAN A.M., 1964. Studies on sugarcane smut caused by *Ustilago scitaminea* Syd. II. Effect of relative humidity on spore germination. J. Indian Bot. Soc., 43 : 61-63.

SAXENA K.M.S., SINGH K., 1966. The matting pattern in *Ustilago scitaminea*. Indian Phytopathol., 14 : 286-289.

TAIWAN SUGAR RESEARCH INSTITUTE, 1980. Annual report 1979-1980. Taiwan, Taiwan Sugar Research Institute, p. 26.

TCHING L., 1979. Etude de la résistance de plantules de canne à sucre à *Ustilago scitaminea* Syd. DEA, Orsay, 15 p.

TOFFANO W.B., 1976. Studies on physiologic races of *Ustilago scitaminea* Syd. in the state of Sao Paulo. Arch. Inst. Biol. Sao Paulo, 43 (3-4) : 65-79.

TRIONE E.J., 1964. Isolation and *in vitro* culture of the wheat bunt fungi *Tilletia caries* and *Tilletia controversa*. Phytopathology, 54 : 592-596.

VAN DER PLANK J.E., 1963. Plant diseases epidemics and control. New-York, London, Academic Press, 349 p.

WHITTLE A.M., 1978. Thoughts on smut resistance testing. Sugar. Pathol. Newsl., 20 : 43-66.

WILSON J.M., FREDERIKSEN R.A., 1970a. Histopathology of the interaction of *Sorghum bicolor* and *Sphacelotheca reiliana*. Phytopathology, 60 : 828-832.

WILSON J.M., FREDERIKSEN R.A., 1970b. Histopathology of resistance in the *Sorghum bicolor* and *Sphacelotheca reiliana*. Phytopathology, 60 : 1365-1367.
